

陈秀其. 江南古陆东北缘盖层叠加褶皱特征[J]. 地球科学与环境学报, 2019, 41(1): 15-28.

CHEN Xiu-qi. Characteristics of the Capping Superposed Fold in the Northeastern Margin of Jiangnan Orogen, China[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2019, 41(1): 15-28.

江南古陆东北缘盖层叠加褶皱特征

陈秀其^{1,2}

(1. 合肥工业大学 资源与环境工程学院, 安徽 合肥 230009; 2. 安徽省地质调查院, 安徽 合肥 230001)

摘要:江南古陆东北缘古生代—早中生代盖层中发育的褶皱构造属性逐渐被认识,但该区是否存在叠加褶皱及其叠加样式如何则未见报道。通过野外调查,发现江南古陆东北缘发育加里东期、印支期褶皱构造。通过对区内叠加褶皱特征和应力场恢复研究,并应用构造解析和赤平投影法研究叠加褶皱的几何学和运动学特征,显示盖层发育3期区域性叠加褶皱变形:区内早期遭受SN向挤压,形成加里东晚期近EW向褶皱(第一期褶皱);其后遭受SE—NW向挤压,形成印支早期NE向或NNE向褶皱(第二期褶皱);晚期遭受NE—SW向挤压,形成印支晚期—燕山早期近SN向或NNW向褶皱(第三期褶皱)。区域叠加褶皱主要有横跨和斜跨叠加褶皱,发育多样干涉样式。结果表明:第二期褶皱斜跨第一期褶皱,形成了区内基本构造格局。深入研究叠加褶皱构造特征和变形演化史,对区内构造格架重建和地质找矿均具有重要意义。

关键词:构造地质;叠加褶皱;赤平投影;区域尺度;干涉样式;应力场;构造序列;江南古陆

中图分类号:P542⁺.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-6561(2019)01-0015-14

Characteristics of the Capping Superposed Fold in the Northeastern Margin of Jiangnan Orogen, China

CHEN Xiu-qi^{1,2}

(1. School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, Anhui, China; 2. Geological Survey of Anhui Province, Hefei 230001, Anhui, China)

Abstract: The tectonic attribute of the capping fold developed in Paleozoic-Early Mesozoic in the northeastern margin of Jiangnan orogen is gradually recognized, but there is not research report about the superposed folds and their superposed patterns in the study area at present. Based on the field investigates, Caledonian and Indosinian fold structures develop in the northeastern margin of Jiangnan orogen. Based on the characteristics of the superposed folds and the restoration of stress field, the geometry and kinematics characteristics of superposed folds are discussed by structure analysis and stereographic projection method, and there are three stages of the capping superposed fold deformation, including the first fold (F1), the second fold (F2) and the third fold (F3). In the early stage, the cap suffers SN compression, and forms Late Caledonian EW-nearly fold (F1); then, the first fold suffers SE-NW compression, and forms Early Indosinian NE or NNE fold (F2); in the later stage, the second fold suffers NE-SW compression, and forms Late Indosinian-Early Yanshanian SN-nearly or NNW fold (F3). The

收稿日期:2018-06-11;修回日期:2018-10-02 投稿网址: <http://jese.chd.edu.cn/>

基金项目:国家自然科学基金国际(地区)合作与交流项目(41320104003);

中国地质调查局地质调查项目(1212011120851, 1212011120848)

作者简介:陈秀其(1968-),男,安徽全椒人,安徽省地质调查院高级工程师,合肥工业大学理学博士研究生, E-mail: chenxiuqi@163.com。

regional superposed folds mainly have vertical span and slant span styles, and develop various Interference patterns. The results show that the second fold diagonally overprints the first fold, and forms the basic structural pattern in the area. The study on the structural characteristics and deformation evolution of superposed folds has great significance on the reconstruction of tectonic framework and geological prospecting.

Key words: tectonic geology; superposed fold; stereographic projection; regional scale; interference pattern; stress field; tectonic sequence; Jiangnan orogen

0 引言

叠加褶皱是构造地质学研究的重要内容之一,研究褶皱构造的复合和叠加关系,可揭示构造复杂地区的构造变形过程^[1],因此,其对于探讨构造演化史具有重要意义。变质岩区发育多期面理和线理,叠加褶皱易于发现;而沉积岩区一般缺乏面理和线理,叠加褶皱常被忽视,很多叠加褶皱被描述为简单褶曲或花边褶皱等。实际上,沉积岩区叠加褶皱也较发育^[2-6]。汤加富等认为下扬子区东北缘存在叠加变形构造^[7],认识到存在早期劈理(S_1)、拉伸线理和露头尺度近 EW 向紧闭同斜等变形构造,但否认其属于加里东期构造。近年来,区内古生代—早中生代盖层发育加里东期褶皱逐渐被认识,主要发育加里东期和印支期褶皱变形^[8-11],然而对于是否存在区域尺度叠加褶皱以及叠加样式如何则鲜有报道。上扬子北缘的龙门山和米仓山、大巴山和当阳以及上扬子南缘的雪峰山地区沉积盖层发育 3 期叠加褶皱构造^[12-19],并形成于印支期—燕山早期。在中扬子湘中地区,则存在加里东期、印支早期与晚期、燕山期褶皱变形,王建等认为该区发育的穹隆—盆地型构造是由加里东期和印支期叠加形成的^[20]。本次调查发现江南古陆东北缘皖南石台至浙西一带发育穹隆—盆地型叠加构造,佐证了区内盖层可能发育区域尺度的加里东期和印支期叠加褶皱。然而,1:200 000 旌德幅区域调查资料^[21]和 1:250 000 安庆幅区域调查资料^[22]中显示其是地形效应造成的花边褶皱。陈忠大等认为区内东部浙西地区存在两期构造叠加,造成花边褶皱现象^[23]。余心起等对古生代—中生代盖层构造属性等方面进行了详细研究^[24-31],主要包括:深入探讨了加里东期,区内乃至华南地块北缘是褶皱造山还是抬升造陆运动的问题;研究其造山机制是碰撞型造山还是陆内造山的问题。而前人对区内是否存在叠加褶皱问题没有深入研究。本文基于详细的野外调查研究,以江南古陆东北缘盖层褶皱构造形迹为研究对象,通过野外

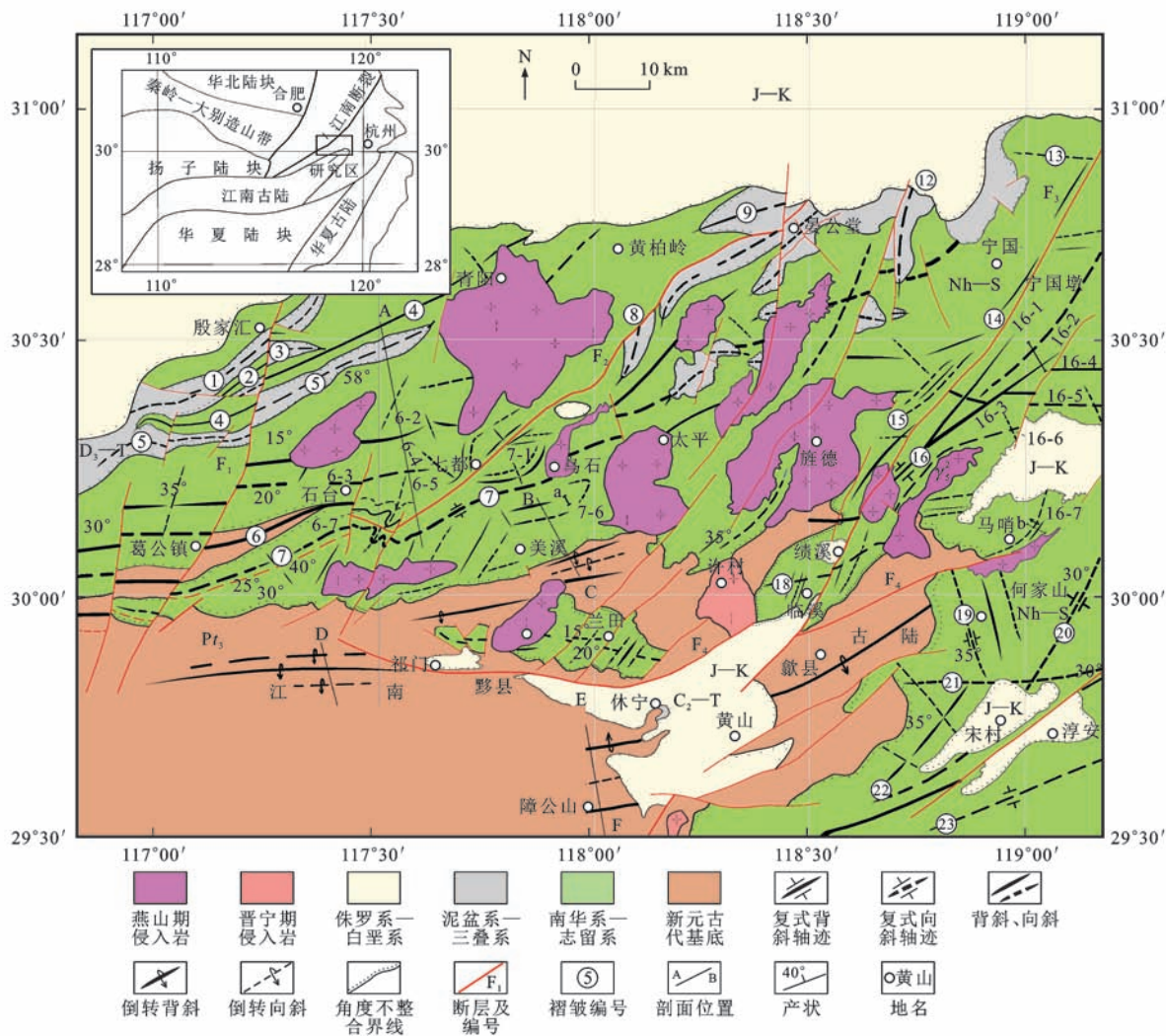
和室内系统收集构造要素资料,从叠加褶皱几何学和运动学来研究和探讨盖层叠加褶皱特征和构造演化史。

1 区域地质概况

研究区位于扬子陆块东南缘,处于江南古陆东北段(图 1)。新元古代浅变质岩系组成江南造山带。区内广泛出露卷入褶皱变形的南华系—三叠系地层,南华系—震旦系由碎屑岩—冰碛岩—碳质泥岩—碳酸盐岩—硅质岩等组成,各组之间为整合或平行不整合接触。南华系休宁组底砾岩角度不整合于基底岩系(溪口群、歙县岩群和历口群)之上。下古生界由碎屑岩—碳酸盐岩—碎屑岩组成,各组之间均为被动大陆边缘的海相连续沉积,均呈整合接触。上古生界上泥盆统—三叠系地层分布于区内北部及东北部,从底向上为陆相碎屑沉积、浅海相碳酸盐岩沉积、陆缘碎屑岩沉积,各组均为整合或平行不整合接触。上泥盆统五通组底砾岩角度不整合于志留系之上^[9-11]。侏罗系—白垩系主要分布于区内北部、南部和东部一带,侏罗系以河流相至湖泊相沉积为主,白垩系以冲积扇相至滨湖相沉积为主。朱光等研究表明上三叠统分别与中三叠统及下侏罗统为角度不整合接触^[32]。显然,区内盖层沉积旋回是构造旋回的物质记录,分别对应加里东期、海西期—印支期和燕山期构造层。岩浆活动主要以晋宁期和燕山期为主,晋宁期岩浆岩分布于区内歙县许村、黟县北侧和石耳山等地,燕山期花岗岩主要分布于区内中部一带。岩性主要为花岗岩类,区内褶皱和断裂构造发育(图 1),其中,多期褶皱构造发生叠加,形成丰富多彩的叠加—干涉样式,成为区内最明显的构造特征。断裂构造主要为葛公镇断裂(F_1)、江南断裂(F_2)、绩溪断裂(F_3)和祁门—歙县断裂(F_4)。

2 叠加褶皱分类

江南古陆东北缘发育多期褶皱变形构造叠加,因其形成的地史时期不同,故属复合叠加^[33-36]。叠



F_1 为葛公镇断裂; F_2 为江南断裂; F_3 为绩溪断裂; F_4 为祁门—歙县断裂; 1~5 为殷家汇褶皱带, 其中 1 为洗马铺向斜, 2 为吴田铺背斜, 3 为殷坑塘向斜, 4 为铜关里背斜, 5 为许家坦向斜; 6 为七都复背斜, 其中 6-2 为杨美桥背斜, 6-3 为杨田埂向斜, 6-4 为老山向斜, 6-5 为横北岭背斜, 6-6 为胡村向斜, 6-7 为雍溪背斜; 7 为太平复向斜, 其中 7-1 为杨家垄向斜, 7-6 为章村向斜; 8~12 为晏公堂褶皱带, 其中 8 为翟村向斜, 9 为晏公堂向斜, 10 为董家向斜, 11 为铜山向斜, 12 为白果树向斜; 13 为独树街向斜; 14 为瓦窑铺背斜; 15 为花林畈复向斜; 16 为绩溪复背斜, 其中 16-1 为浪荡坞背斜, 16-2 为梅林向斜, 16-3 为宁国墩背斜, 16-4 为南坞口背斜, 16-5 为岛石坞向斜, 16-6 为马川向斜, 16-7 为马哨向斜; 17 为兰田复向斜; 18 为临溪向斜; 19 为何家山复向斜; 20 为芹川复向斜; 21 为大茂川向斜; 22 为方宅背斜; 23 为淳安复向斜; 图件引自文献[10]和安徽省 1:500 000 地质图, 有所修改

图 1 江南古陆东北缘地质构造简图

Fig. 1 Sketch Map of Geological Structure in the Northeastern Margin of Jiangnan Orogen

加褶皱是复合构造中一种重要的表现形式。在地壳浅部,特别是未变质或浅变质的沉积盖层,褶皱大多属纵弯叠加褶皱^[3,37]。区内盖层主要岩性为沉积岩,本次调查证实主要发育纵弯叠加褶皱,局部见有露头尺度的剪切褶皱。乐光禹等对叠加褶皱的分类进行了详细研究^[3,38-43],但分类研究对象均为纵弯叠加褶皱^[38-39],其前提是假设多期褶皱过程均为均匀变形,根据早期和晚期褶皱的轴面与叠加方向的夹角变化,将叠加褶皱样式和干涉类型分为四大类。实际上,自然界褶皱作用并非完全均匀变形,往往呈现较为复杂的干涉样式。在前人研究的基础上,Si-

mon 将纵弯叠加褶皱进行了补充^[43],但其没有对两期褶皱枢纽斜交的情况进行划分^[12]。本文根据实际情况和孙东等的研究成果^[12,43]基础上,厘定了区内两期褶皱枢纽斜交叠加类型(图 2)。

3 盖层区域性褶皱解析

与盖层褶皱特征差异较大的基底褶皱分布于江南古陆东北缘南部的祁门至黟县一带,轴迹呈近 EW 向,主要由新元古界地层组成,因受到后期叠加褶皱改造作用,其构造样式为紧闭倒转褶皱或“Ω”形倒转褶皱,如图 3 中剖面 D—F 段所示。区内盖

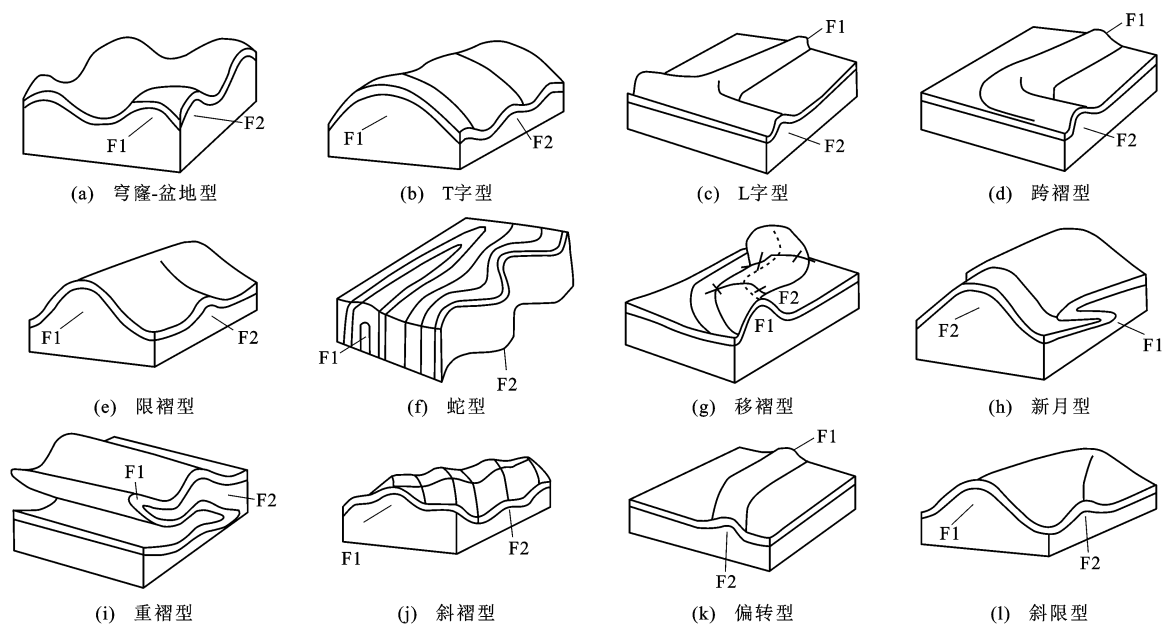
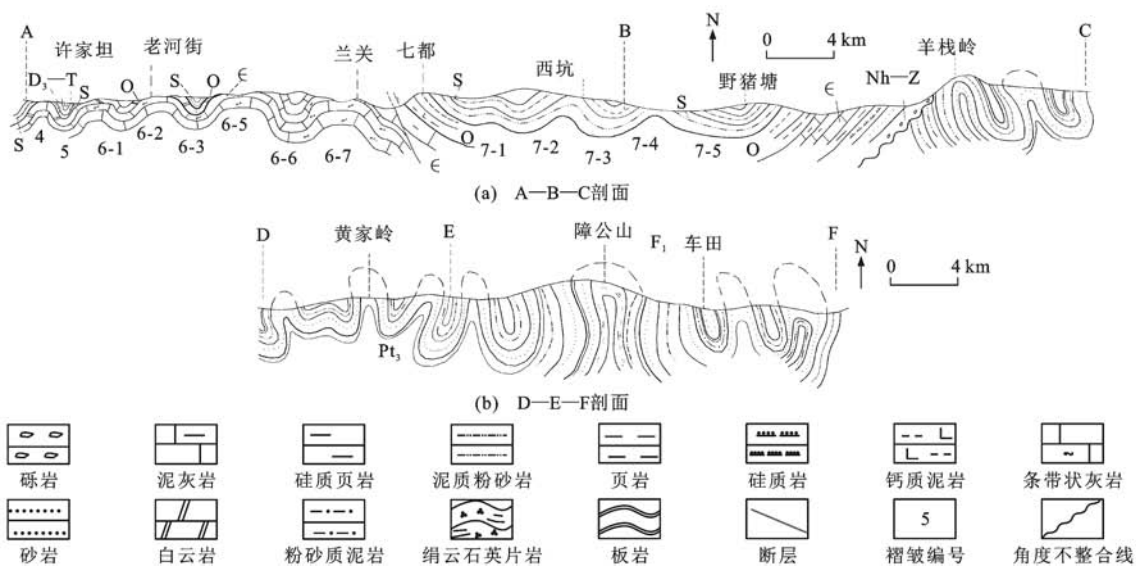


图 2 叠加褶皱分类

Fig. 2 Classifications of Superposed Folds



7-2 为西坑背斜;7-3 为南山向斜;7-4 为售口背斜;7-5 为野猪塘向斜

图 3 研究区构造剖面

Fig. 3 Tectonic Sections in the Study Area

层明显发育区域叠加褶皱(图 1),根据褶皱卷入的构造层、构造要素特征和样式差异特征不同,可明显识别出 3 期褶皱构造,分别为轴迹近 EW 向的第一期褶皱(F1)、NE 向或 NNE 向的第二期褶皱(F2)和近 SN 向或 NNW 向的第三期褶皱(F3)^[10,44]。

3.1 第一期褶皱

盖层区域第一期褶皱主要由早古生代和前寒武纪地层组成。从西北至东南依次分布七都复背斜、太平复向斜、绩溪复背斜、兰田复向斜、大茂川复向斜和淳安复向斜等。该期褶皱以原始层理(S₀)为变

形面,由于后期构造改造,于皖南七都和乌石等地见有新月形、蘑菇形褶皱发育,皖南石台和宁国地区见有穹隆-盆地型构造组合(图 4)。上述褶皱除兰田复向斜卷入的最年轻地层为上寒武统外,其他卷入的最年轻地层均为志留系,故其可能形成于加里东期。上述褶皱均为复式褶皱,轴迹近 EW 或 NEE 向延伸,枢纽向 NEE 倾伏,褶皱规模巨大;褶皱长宽比为 3:1~5:1,为短轴褶皱;褶皱形态上呈中常一开阔型褶皱特征^[10],其构造样式如图 3 中剖面 A—C 段中老河街—羊栈岭所示。兰田复向斜长宽

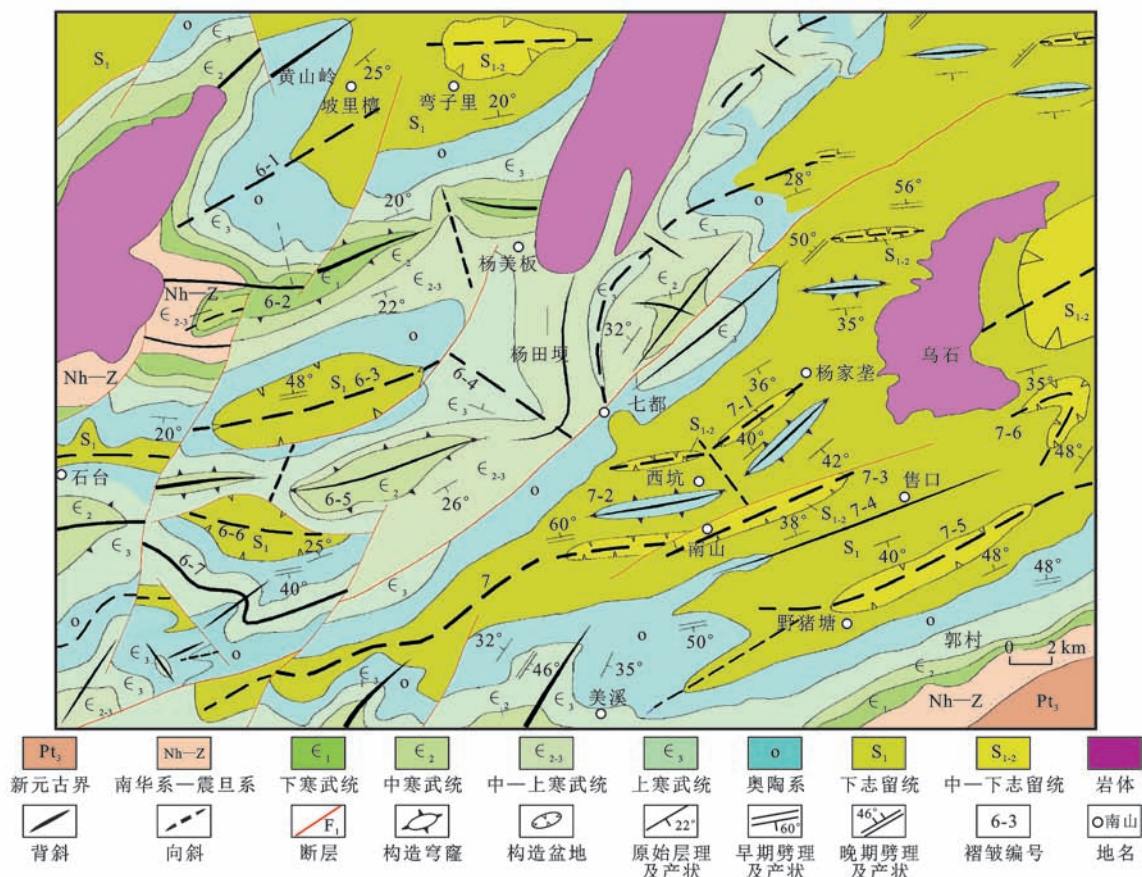


图 4 安徽石台地区构造解析图

Fig. 4 Map of Structural Analysis in Shitai Area of Anhui

比为 2 : 1, 故为构造盆地。余心起认为其是加里东早期形成的残留向斜^[24], 卢华复称之为加里东早期上叠拗槽向斜盆地^[45]。该期褶皱与基底褶皱轴迹近一致, 因发生重褶作用使基底褶皱更加紧闭, 并形成倒转褶皱。

3.2 第二期褶皱

盖层区域第二期褶皱主要由晚古生代—中三叠世和前泥盆纪地层组成。轴迹总体呈 NE 向展布, 较为发育。第二期褶皱由殷家汇褶皱带、晏公堂褶皱带和上述复式褶皱中的 NE 向次级褶皱等组成 (图 1), 如绩溪复背斜中的次级褶皱有瓦窑铺背斜、花林畈复向斜、浪荡坞背斜、梅林向斜和宁国墩背斜, 包括本次调查新识别出的芹川复向斜、方宅背斜, 以及七都复背斜、太平复向斜和兰田复向斜中发育的一系列 NE 向规模较小褶皱, 它们轴迹呈 NE 向延伸, 为中常型褶皱, 故均属第二期褶皱 (图 1)。殷家汇和晏公堂褶皱带卷入的最新地层均为中三叠统, 暗示其可能形成于印支早期。各褶皱平行排列, 背斜与向斜级次相同, 均为简单褶皱。殷家汇褶皱带轴迹呈 NE 向延伸, 枢纽均向 SW 倾伏 (这与其南

邻的七都复背斜的枢纽倾伏相反, 故暗示它们可能属不同期构造), 翼间夹角 $50^{\circ} \sim 70^{\circ}$, 轴面略向 NW 倾伏, 褶皱长宽比一般大于 10 : 1, 故呈中常型线形特征, 其构造样式如图 3 中剖面 A—B 段中的许家坦向斜等。晏公堂褶皱带规模较小, 轴迹呈 NE、NNE 向或近 SN 向延伸, 枢纽向 NE 或 NNE 倾伏, 翼间夹角 $65^{\circ} \sim 110^{\circ}$, 轴面略向 SE 倾伏, 褶皱长宽比为 3 : 1 ~ 5 : 1, 平面形态呈不规则椭圆状或扇状, 1 : 250 000 宣城幅区域调查资料^[22]中称之为残留向斜, 或称之为卵形向斜盆地^[45], 因此, 晏公堂褶皱带为短轴状中常—开阔型褶皱。因第二期褶皱轴向与基底褶皱、第一期褶皱轴向呈 60° 以上交角, 故使上述两期褶皱轴迹向 NE 偏转, 并使基底褶皱出现扇形特征, 且形成 L 字型或 T 字型叠加褶皱等组合。

3.3 第三期褶皱

盖层区域第三期褶皱主要由晚古生代—晚三叠世和前泥盆纪地层组成。褶皱轴迹呈 NNW 向或近 SN 向展布。区域性褶皱以何家山复向斜、马川向斜、石台老山向斜等为代表。第三期褶皱翼间夹角一般为 $65^{\circ} \sim 120^{\circ}$, 褶皱长一般在 5 ~ 15 km 之间, 褶

皱长宽比为2:1~5:1,故规模一般较小,总体形态呈短轴状中常一宽缓型褶皱特征。该期褶皱伴生的间隔状破劈理(S_3)走向为 $310^{\circ}\sim 330^{\circ}$,倾角较陡,主要发育于泥岩、泥灰岩中。该期褶皱轴向与基底褶皱、第一期褶皱轴向近垂直,故产生横跨叠加褶皱,形成穹隆-盆地型构造组合,与第二期褶皱轴迹交角为 $45^{\circ}\sim 60^{\circ}$,故形成斜跨叠加褶皱。

4 区域叠加褶皱特征

4.1 横跨叠加褶皱

江南古陆东北缘出现晚期褶皱近垂直跨越早期褶皱形成的叠加干涉样式,即第二期褶皱近垂直于第一期褶皱,第三期褶皱垂直于第一期褶皱;将其进一步细分为穹隆-盆地型、跨褶型、T字型、L字型、限褶型、蛇型、移褶型、新月型、重褶型等横跨叠加类型^[43](图2)。从图1、4可知,第三期褶皱轴迹与第一期、第二期褶皱呈大角度斜跨或横跨叠加特征。

穹隆-盆地型在浅层地层中(薄壳内)两期褶皱波长相似,规模相近,早期褶皱轴面近垂直,两翼产状对称、平缓,以穹隆-盆地型干涉样式为特征^[1-2];在几何学上相当于Ramsay等提出的1型^[39]或Ghosh等提出的A类叠加类型^[41]。该型主要见于研究区东北部的宁国地区和西部的石台地区横渡至七都一带。在西部的石台地区,该型叠加褶皱发育于寒武系一志留系中薄层泥灰岩、含白云质泥灰岩和中薄层夹中厚层泥质细砂岩夹页岩中,由多个波长5~6 km左右、翼间夹角 $65^{\circ}\sim 100^{\circ}$ 的近EW向和近SN向或NNE向两组褶皱形成的穹隆-盆地型干涉样式组成(图4)。两期褶皱的轴面近垂直。近EW向褶皱横跨叠加了近NNE向或近SN向褶皱。东北部的宁国地区绩溪复背斜可解析为两期褶皱呈穹隆-盆地型样式叠加,即近EW向褶皱被NE向褶皱横跨叠加,形成一系列穹隆-盆地型构造组合^[10]。

跨褶型或称之为主褶皱^[1,12]。两期褶皱波长不等,规模相差大,形成以第二期褶皱为主导的褶皱系统,在几何学上相当于Ramsay等提出的1型^[39]或Ghosh等提出的B类叠加类型^[41],为区内最典型和较为发育的叠加褶皱类型。如在区内美溪一带的寒武系一志留系地层和宁国南坞口一带的南华系一奥陶系地层中,发育一系列紧闭一中常型(波长为3~4 km)NNE向或NE向褶皱,跨过了早期近EW向开阔一宽缓型褶皱(图1、4)。在区内宁国南坞口^[10]和何家山一带,由于晚期褶皱变形强烈,导

致早期近EW向褶皱几乎被置换殆尽(图1、5)。Ramsay等研究表明,由于后期褶皱横跨叠加,使早期或先成褶皱在垂直轴面的伸展作用下变缓展开,形成开阔一宽缓型褶皱^[39,43,46-47]。前述区内第一期褶皱呈开阔一宽缓型特征可能证实上述观点。

T字型又被张忠义等称为限褶型^[1],即晚期褶皱拼贴,并置于早期褶皱的轴向一端,平面呈侧倒T字型的叠加干涉样式,如区内美溪一带(图4)和淳安大角尖一带见及发育(图5)。

L字型(或倒厂字型)叠加褶皱为弧形联合的一种^[24,42]。区内该型叠加样式发育,如西坑背斜本身表现为NE向与近EW向,呈马鞍状翘起,或呈倒厂字型特征(图1、4)。芹川复向斜和大茂川向斜等组成L字型组合(图5)。

限褶型为形成较早的一组褶皱限制形成较晚的褶皱。第一期褶皱的波长小于第二期褶皱的波长。两期褶皱轴面近垂直,但第二期褶皱规模小、强度弱,汇入而不能穿越第一期褶皱^[43],发育在第一期褶皱的一侧,形成鼻状褶皱,平面上呈T字型的叠加干涉样式,如七都一带见有该型干涉样式(图4)。另一种表现为第二期褶皱发育在第一期褶皱轴的侧向终止端,平面上呈T字型或倒T字型,如区内宁国墩一带的早期宁国墩背斜与晚期马川向斜叠加组成了T字型干涉样式(图1)。

移褶型也称轴面屈服型^[1]。两期褶皱应力场近垂直,但第一期褶皱枢纽、轴面均屈服弯折,第二期褶皱和第一期褶皱不垂直,沿弯曲的第一期褶皱枢纽形成,且轴面两侧的第二期褶皱不对称,即第二期褶皱在第一期褶皱两翼构成背斜对向斜及向斜对背斜的变形样式^[1]。该型叠加褶皱被称之为移褶型^[33,37],如太平复向斜的石台七都段受印支期NE向褶皱叠加后,形成轴迹呈近EW向NE偏转,轴面弯曲变形。杨美桥背斜受到近SN向晚期褶皱叠加,形成轴迹呈近EW向延伸并向NE偏转,其轴面弯曲变形(图1、4)。

新月型两期褶皱轴垂直相交。当晚期褶皱轴面倾斜,两翼产状相反,倾角不等时,形成弓形干涉样式;当早期褶皱轴面倾斜,一翼正常,另一翼倒转时,则形成新月型干涉样式^[2]。比如,区内七都、售口东以及大茂川西北部均见有新月型叠加褶皱发育(图1、4、5)。

重褶型,指两期褶皱轴平行时的相互干涉样式。区内见有该型区域性叠加褶皱发育,如绩溪复背斜的次级褶皱马哨向斜和梅林向斜,1:200 000旌德

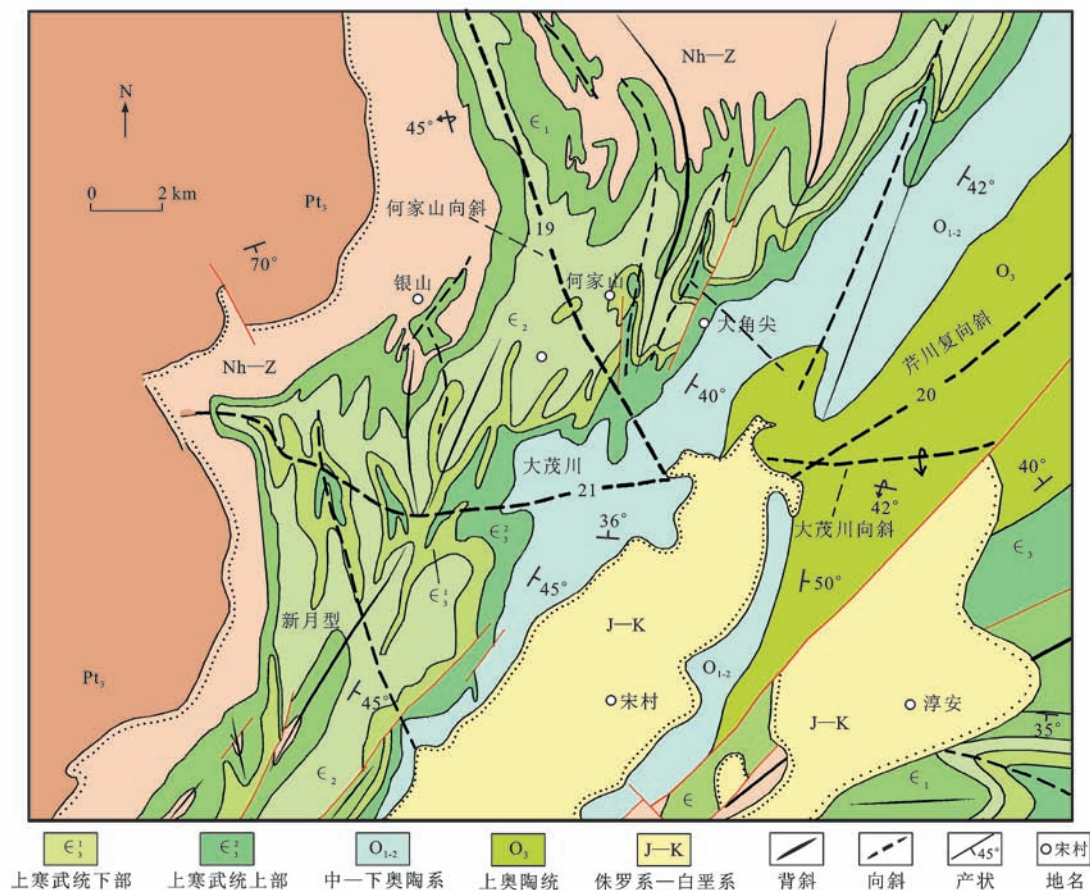


图 5 浙江淳安地区构造解析图

Fig. 5 Map of Structural Analysis in Chun'an Area of Zhejiang

幅区域调查资料^[21]中将其定性为印支期褶皱,其均由早期近东向的斜卧或平卧褶皱被晚期 NNE 向褶皱重褶叠加而成[图 6(b)、(c)]。太平复向斜近核部的安徽省石台县脚下和黟县美溪见有重褶型露头尺度叠加褶皱发育(图 7)。该向斜南翼的下志留统霞乡组上段粉砂质泥岩中发育重褶型叠加褶皱[图 6(a)],早期紧闭型小褶皱发生重褶作用,出现弯头特征,且见有以早期劈理面作为变形面发生再次褶皱作用,叠加形成了晚期开阔型褶皱。早期劈理走向波状起伏,但其走向近 EW,故可能为第一期褶皱;第二期褶皱发育轴面劈理构造。

4.2 斜跨叠加褶皱

江南古陆东北缘出现晚期褶皱斜跨早期褶皱形成的叠加干涉样式,即第二期褶皱轴不垂直于第一期褶皱轴;将其进一步细分为斜褶型、偏转型、斜限型等斜跨叠加褶皱(图 2)。

斜褶型,为区内发育大量的斜跨叠加褶皱样式。比如,绩溪复背斜可解体为两期构造(图 1),即轴迹呈近 EW 向的早期褶皱(南坞口背斜)被轴迹呈 NE 向的晚期褶皱(浪荡坞背斜、梅林向斜)斜跨叠加;芹

川复向斜可解体为 3 期构造,即近 EW 向的早期大茂川褶皱被 NE 向晚期褶皱(芹川复向斜、方宅背斜)斜跨叠加,最后,两者又被 NW 向何家山复向斜斜跨叠加(图 1、5)^[10]。

偏转型(如太平复向斜)表现最为明显,其轴迹自西向东逐渐偏转(图 1)。比如,七都复背斜的次级褶皱杨美桥背斜西段呈近 EW 向,而东段(黄柏岭背斜)呈 NE 向延伸,东、西两段呈倒厂字型组合特征,均表明存在后期叠加构造(图 1)。

斜限型,如太平复向斜七都段几乎限制该段东南侧的安徽省黟县美溪一带的 NE 向褶皱和东北侧翟村向斜等后期构造的发育。在浙西地区也见有早期近 EW 向大茂川向斜限制了 NE 向方宅背斜和 NNW 向何家山复向斜等晚期构造发育(图 1、5)。早期与晚期褶皱轴迹交角在 45°~60°之间。

4.3 叠加褶皱的统计学和运动学特征

江南古陆东北缘发育的纵弯叠加褶皱在运动学上是主动的^[48],组成早期褶皱的面理或线理强烈影响和控制着叠加褶皱作用的发生^[1,49-50]。本次于区内皖南七都、宁国墩和浙西何家山地区进行褶皱面

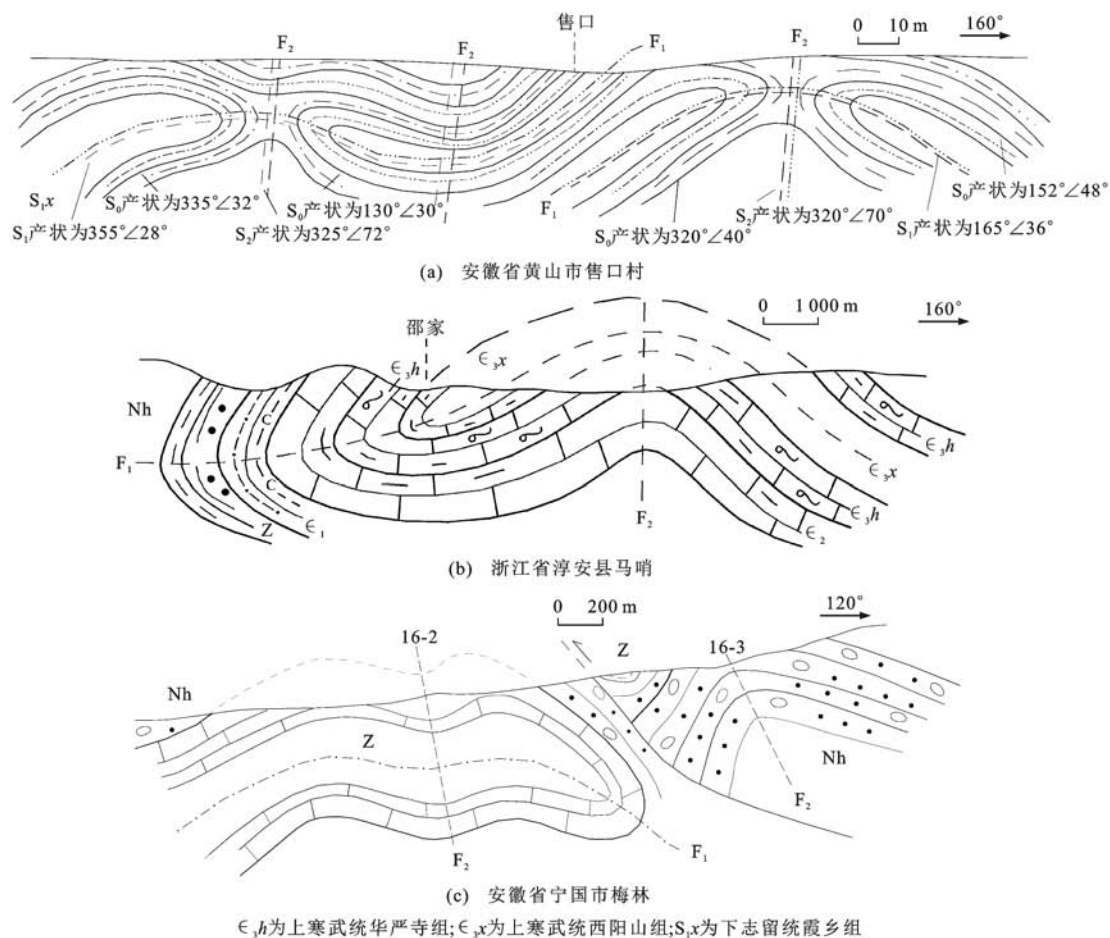


图 6 叠加褶皱构造剖面

Fig. 6 Structural Sections of the Superposed Folds

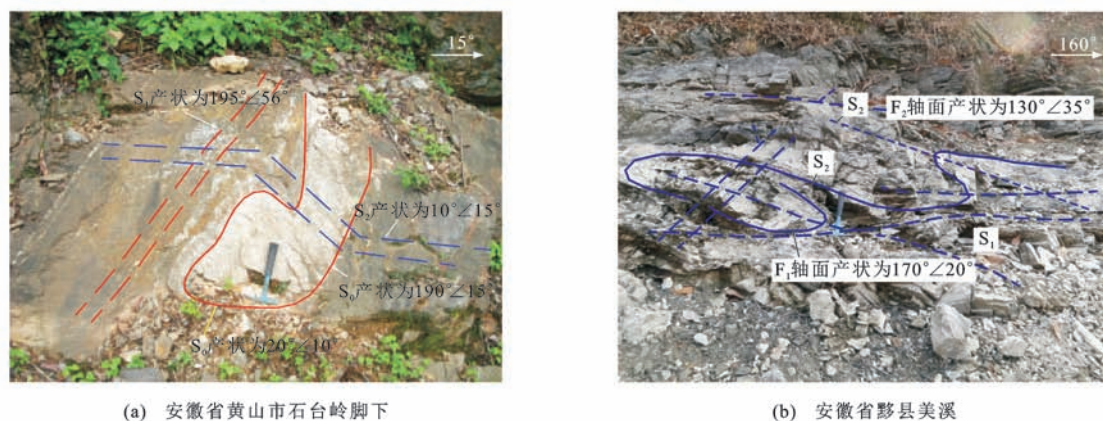


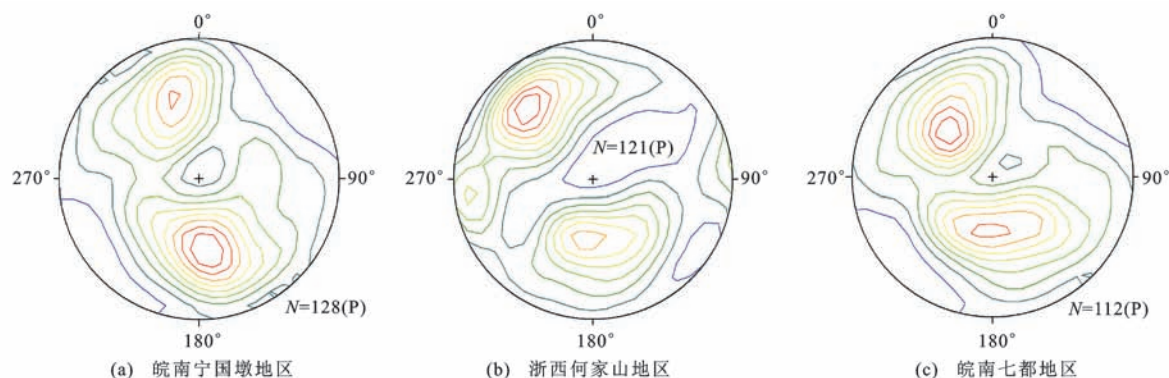
图 7 重褶皱型两期叠加褶皱构造图解

Fig. 7 Tectonograms of Two Types of Refold Superposed Folds

组(原始层理)的 π 图式探讨,分别在上述地区测得褶皱卷入的不同层位的层理产状数量(N)为128、121和112,进行等面积下半球统计分析。结果显示:两期褶皱近正交,形成替叉环带^[51](图8),表明区内主要发育两期叠加褶皱,即轴迹近EW向、NE向褶皱,次为晚期近SN向褶皱。

区内第一期褶皱的轴面产状赤平投影显示总体

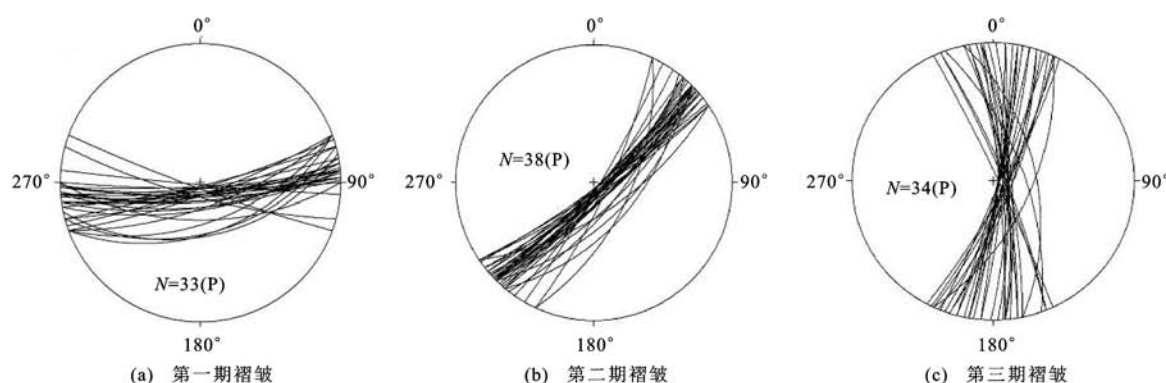
倾向S或SSE[图9(a)],第二期褶皱的轴面产状总体倾向SE[图9(b)],第三期褶皱的轴面产状倾向近E向[图9(c)]。因褶皱的轴面产状是由地层褶皱过程中遭受区域性挤压作用形成的,所以可以通过轴面产状大致估算出褶皱的最大主应力方向^[34,48]。其中,第一期褶皱是遭受近SN向挤压形成的,第二期褶皱是遭受SE—NW向挤压形成的,第三期褶皱是遭受近



图件均为等面积下半球赤平投影;N 为组构数;P 为面组构

图 8 盖层褶皱面组构极密环带特征

Fig. 8 Characteristics of the Capping Fold Surface Fabric with Dense Ring



图件均为等角下半球赤平投影

图 9 褶皱轴面产状赤平投影

Fig. 9 Stereographic Projections of Fold Axial Plane Occurrence

EW 向挤压形成的。江南古陆北缘盖层第一期褶皱强烈,主褶皱轴向为近 EW—NEE 向,依据其长、短翼及轴面产状,判定其由南向北运动^[8],与本次统计的第一期褶皱主应力场结论一致。王孔忠等认为浙西一带印支期区域主应力场方向为 NW—SE 向^[52],与前述统计的第二期褶皱主应力场方向一致。

5 褶皱演化序列和形成时代

从叠加褶皱形成的组合特征和改造变形先后关系,基本得出江南古陆东北缘褶皱演化序列^[53]。褶皱演化序列还可通过各期褶皱与卷入构造层的关系以及不同构造层之间接触关系特征加以确定^[1]。区内近 EW 向或 NEE 向褶皱卷入了加里东期和晋宁期构造层,被 NE 向或 NNE 向褶皱叠加改造,形成多种样式的叠加组合类型,故其为第一期褶皱;NE 向或 NNE 向褶皱卷入了最新地层中三叠统,且被晚期的近 SN 向或 NNW 向褶皱叠加改造后,其轴迹向 NEE 偏转,故其为第二期褶皱;NNW 向或近 SN 向褶皱形成最晚,故其为第三期褶皱。

前人对上述 3 期构造的形成时代认识分歧较大。1:200 000 安庆、旌德、祁门、屯溪、建德等幅区域调查^[21,54-55],1:250 000 安庆幅区域调查资料^[22]和浙江、江西、安徽省区域地质志^[56-58]均认为南华纪—早中生代盖层只发育印支期褶皱,其因为未见加里东期构造角度不整合接触,从而推断区内震旦系—中三叠统地层构成印支期褶皱系统。储东如将上述第一期褶皱定性为印支第一期^[59],朱光等将上述第一期、第二期褶皱定性为印支期,第三期褶皱定性为燕山早期^[60]。直至 20 世纪末,前人将区内盖层第一期褶皱均定性为印支期。21 世纪以来,根据 1:50 000 横船渡等 17 幅区域调查资料^[61]和 1:250 000 宣城幅区域调查资料^[22],加里东期褶皱构造逐渐被认识。戴圣潜等认为区内露头尺度的近 EW 向褶皱形成于加里东期,区域性主干褶皱形成于印支期^[9,52];余心起等认为浙赣皖相邻区近 EW 向第一期褶皱形成于加里东期,NE 向第二期褶皱形成于印支期^[8];陈秀其等认为近 EW 向第一期褶皱形成于加里东期,NE 向第二期褶皱形成于

印支早期, NW 向第三期褶皱形成于印支晚期^[10,44]。本文提出的叠加褶皱显然至少构成两个明显的褶皱系统, 即近 EW 向第一期褶皱和 NE 向第二期褶皱, 两者褶皱轴面和枢纽夹角为 $45^{\circ} \sim 50^{\circ}$, 故主要构成斜跨叠加褶皱; 另外, 还存在 NW 向或 NNW 向第三期宽缓褶皱, 第三期褶皱与第一期、第二期褶皱的轴面和枢纽夹角分别为 $50^{\circ} \sim 65^{\circ}$ 、 $70^{\circ} \sim 85^{\circ}$, 故对第一期褶皱主要形成斜跨叠加褶皱, 而对第二期褶皱主要形成横跨叠加褶皱。

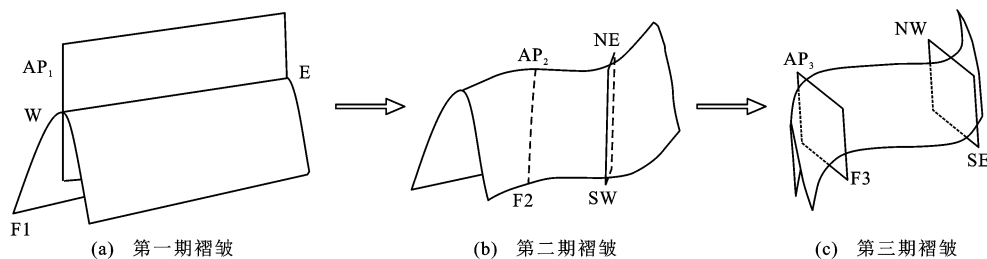
显然, 区内存在上述 3 期褶皱构造。其中, 第一期褶皱近年来已被证实为加里东期构造, 因为安徽省宁国市汪溪和老虎山、泾县桃花镇和东翟、宣城市蔡家以及黄山市举坑和板桥等多处剖面见有上泥盆统与下伏层志留系呈角度不整合接触^[8-11], 且第一期褶皱卷入的最年轻地层均为志留系唐家坞组或茅山组。前人对于第二期褶皱属于印支期构造分歧不大。区域上, 朱光等已经证实其存在印支早期角度不整合接触^[60], 且第二期褶皱卷入最新地层均为中三叠统, 故进一步可确定第二期褶皱形成于印支早期。然而, 前人对于第三期褶皱构造性质的认识存在较大分歧: 王孔忠等认为其属于印支第三期构造^[52]; 朱光等认为其属于印支晚期—燕山早期构造^[60]; 陈秀其等认为其属于印支晚期构造^[10]。区域上, 朱光等已经证实存在印支晚期角度不整合接触^[32], 其卷入最年轻地层为上三叠统(根据北侧邻区 1:200 000 太湖幅区域调查资料^[62])。另外, 本次调查及区域地质资料表明第三期褶皱没有卷入侏罗系—白垩系, 故可排除第三期褶皱为燕山早期褶皱的可能性, 显然第三期褶皱可能为印支晚期构造^[10]。Shi 等对华南的雪峰山、大巴山和当阳等地区印支期褶皱进行了年代学研究^[16-19], 从构造形迹和卷入的地层等方面对比得出, 大巴山地区前两期褶皱分别与研究区第二期、第三期褶皱形成时代相当, 即分别形成于中三叠世—晚三叠世初和早侏罗

世初; 此外, 华南早白垩世初期褶皱在区内表现微弱, 只形成近 EW 向或 NEE 向宽缓小型褶皱^[10]。

另外, 1:200 000 旌德幅区域调查资料^[21] 和 1:250 000 安庆幅区域调查资料^[22] 认为区内构造叠加现象是花边褶皱或褶皱分叉问题, 从而否认存在叠加褶皱构造。花边褶皱构造指由于褶皱枢纽波状起伏造成的褶皱形态有规律对称摆动的地质现象, 其两翼呈裙边状。如陈忠大等将区内皖南绩溪至浙西一带南华系—下古生界地层中发育的有规律波动褶皱定性为花边褶皱^[23], 主要源自对盖层褶皱归属问题认识, 其根本原因是没有发现加里东运动角度不整合证据, 导致将盖层褶皱形成时代归为印支期, 只能用花边褶皱来解释构造叠加现象。事实上, 花边褶皱由近 EW 向加里东期褶皱(第一期褶皱)被 NE 向印支期褶皱(第二期褶皱)或 NW 向褶皱(第三期褶皱)呈斜跨叠加形成, 如浙江省淳安县何家山地区的南华系—寒武系地层中发育一系列花边褶皱(图 5), 其成因为近 EW 向大茂川向斜被后期 NE 向和 NW 向褶皱叠加复合而成。同时, 前人认为区内盖层褶皱存在分叉现象, 如区内复式褶皱确实存在不同方向的众多分叉现象, 图 1 中的七都复背斜分叉为次级老山向斜和胡村向斜, 绩溪复背斜分叉为浪荡坞背斜、宁国墩背斜和南坞口背斜。综上所述, 分叉现象实质上是不同期次褶皱叠加现象的反映。

6 褶皱构造演化

综合江南古陆东北缘褶皱构造的形态、展布、叠加改造关系以及地层接触关系和方法, 可建立本区褶皱构造的演化序列(图 10): 第一期褶皱为区域性近 EW 向开阔褶皱, 为近 SN 向构造应力场挤压作用下形成; 第二期褶皱是在第一期褶皱的基础上发生的斜跨叠加褶皱, 受到 SE—NW 向主应力挤压作用, 形成了中常型线形褶皱; 第三期褶



AP₁ 为第一期褶皱轴面; AP₂ 为第二期褶皱轴面; AP₃ 为第三期褶皱轴面

图 10 盖层褶皱构造演化序列

Fig. 10 Tectonic Evolution Sequence of the Capping Folds

皱是以第二期褶皱轴面劈理和面理为变形面,在 NE—SW 向主应力挤压作用下发生横跨叠加作用,形成宽缓直立褶皱。区内叠加褶皱的发现及其演化特征的研究为区内盖层构造期次厘定和构造格架重建提供了新的资料。综上所述,区内南华纪—古生代地层中发育 3 期叠加褶皱,显示了除印支期褶皱外还存在加里东期褶皱。

7 结 语

(1)江南古陆东北缘南华纪—早中生代盖层主要发育加里东期、印支期褶皱构造,即近 EW 向或 NEE 向褶皱(第一期褶皱)、NE 向或 NNE 向褶皱(第二期褶皱)和近 SN 向或 NNW 向褶皱(第三期褶皱),且发育区域尺度叠加褶皱。

(2)区内叠加褶皱主要有横跨和斜跨两种类型,呈多种多样的几何学干涉样式。

(3)叠加褶皱的形成机制主要为纵弯叠加褶皱。第一期、第二期、第三期褶皱分别由近 SN 向、SE—NW 向和 NE—SW 向挤压作用形成。

(4)通过叠加褶皱的研究,揭示了区内构造变形演化史,对区内构造格架重建具有重要意义。

合肥工业大学资源与环境工程学院宋传中教授和周涛发教授对本文进行了审阅,并提出了宝贵的修改意见,野外工作中得到合肥工业大学张达玉博士和安徽省地质调查院戴圣潜教授、储东如教授、夏军教授、吴雪峰高工、夏立元高工、刘家云高工以及王俊涛、吴衡、胡召齐、徐锦龙、陈忠良、张晋喆、侯克斌、沈仕豪、吴昊、王朝、汪雅菲、葛海影等同志诸多帮助与支持,在此一并致谢!

参考文献:

References:

- [1] 张忠义,董树文.大巴山西北缘叠加褶皱研究[J].地质学报,2009,83(7):923-936.
ZHANG Zhong-yi, DONG Shu-wen. Superposed Buckle Folding in the Northwestern Daba Mountain, Central China[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(7): 923-936.
- [2] 黄继钧.叠加褶皱类型及变形图像[J].成都地质学院学报,1988,15(4):40-47.
HUANG Ji-jun. Type and Deformation Patterns of Superimposed Folds[J]. Journal of Chengdu College of Geology, 1988, 15(4): 40-47.
- [3] 乐光禹,杜思清,黄继钧,等.构造复合联合原理:川黔构造组合叠加分析[M].成都:成都科技大学出版社,1996.
- YUE Guang-yu, DU Si-qing, HUANG Ji-jun, et al. The Theory of Structural Superimposition and Conjunction: Combination and Superimposition Analysis in Sichuan and Guizhou Structures[M]. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press, 1996.
- [4] 吴德超,刘家铎,刘显凡,等.黔西南地区叠加褶皱及其对金矿成矿的意义[J].地质与勘探,2003,39(2):16-20.
WU De-chao, LIU Jia-duo, LIU Xian-fan, et al. The Superposed Folds and the Importance of Mine Field Tectonic in Southwestern Guizhou[J]. Geology and Prospecting, 2003, 39(2): 16-20.
- [5] SHI W, ZHANG Y Q, DONG S W. Intra-continental Dabashan Orocline, Southwestern Qinling, Central China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2012, 46: 20-38.
- [6] 陈龙,施炜.叠加褶皱研究进展综述[J].地质力学学报,2014,20(4):455-468.
CHEN Long, SHI Wei. Superposed Fold: An Overview[J]. Journal of Geomechanics, 2014, 20(4): 455-468.
- [7] 汤加富,侯明金,李怀坤,等.扬子地块东北缘多期叠加变形及形成演化[J].大地构造与成矿学,2003,27(4):313-326.
TANG Jia-fu, HOU Ming-jin, LI Huai-kun, et al. Multi-superimposed Deformations and Their Evolution in Northeastern Margin of Yangtze Block[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2003, 27(4): 313-326.
- [8] 余心起,张达,汪隆武,等.浙赣皖相邻区加里东期构造变形特征[J].地质通报,2006,25(6):676-684.
YU Xin-qi, ZHANG Da, WANG Long-wu, et al. Features of Caledonian Tectonic Deformation in the Zhejiang-Anhui-Jiangxi Border Region[J]. Geological Bulletin of China, 2005, 25(6): 676-684.
- [9] 戴圣潜,周存亭,储东如,等.下扬子东南缘北段加里东期构造形迹新资料[J].地质通报,2006,25(6):670-672.
DAI Sheng-qian, ZHOU Cun-ting, CHU Dong-ru, et al. New Information of Caledonian Tectonic Features in the Northern Part of the Southeastern Margin of the Lower Yangtze Valley[J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(6): 670-672.
- [10] 陈秀其,周涛发,李龙明.皖南—浙西地区盖层褶皱构造形迹特征[J].大地构造与成矿学,2018,42(2):193-210.
CHEN Xiu-qi, ZHOU Tao-fa, LI Long-ming. The Characteristics of Capping Fold Structure in the Southern Anhui and Western Zhejiang Regions[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2018, 42(2): 193-210.

- [11] 陈秀其,周涛发,侯明金. 扬子东南缘北东段加里东期构造不整合特征[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2018,41(5):689-697.
CHEN Xiu-qi,ZHOU Tao-fa,HOU Ming-jin. Unconformity Characteristics of Caledonian Structure in Northeast Segment of Southeastern Margin of Yangtze Block[J]. Journal of Hefei University of Technology (Natural Science Edition),2018,41(5):689-697.
- [12] 孙东,刘树根,邓宾,等. 米仓山与龙门山接合部叠加褶皱特征及构造演化[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2011,38(2):156-168.
SUN Dong,LIU Shu-gen,DENG Bin,et al. Superposed Fold Characteristics and Structural Evolution in the Junction Area of Longmenshan Mountains and Micangshan Mountains in the Southwest of China[J]. Journal of Chengdu University of Technology(Science and Technology Edition),2011,38(2):156-168.
- [13] 董树文,胡建民,施炜,等. 大巴山侏罗纪叠加褶皱与侏罗纪前陆[J]. 地球学报,2006,27(5):403-410.
DONG Shu-wen,HU Jian-min,SHI Wei,et al. Jurassic Superposed Folding and Jurassic Foreland on the Daba Mountain,Central China[J]. Acta Geoscientica Sinica,2006,27(5):403-410.
- [14] 施炜,董树文,胡建民,等. 大巴山前陆西段叠加构造变形分析及其构造应力场特征[J]. 地质学报,2007,81(10):1314-1327.
SHI Wei,DONG Shu-wen,HU Jian-min,et al. An Analysis of Superposed Deformation and Tectonic Stress Fields of the Western Segment of Daba Mountains Foreland[J]. Acta Geologica Sinica,2007,81(10):1314-1327.
- [15] 王凯,刘少峰,姜承鑫,等. 扬子板块北缘中段多期褶皱构造的变形特征及叠加关系[J]. 大地构造与成矿学,2015,39(2):231-240.
WANG Kai,LIU Shao-feng,JIANG Cheng-xin,et al. Structural Style and Superposed Relationship of Multi-period Folds in the Middle Segment of Northern Yangtze Block[J]. Geotectonica et Metallogenia,2015,39(2):231-240.
- [16] SHI W,DONG S W,ZHANG Y Q,et al. The Typical Large-scale Superposed Folds in the Central South China;Implications for Mesozoic Intracontinental Deformation of the South China Block[J]. Tectonophysics,2015,664:50-66.
- [17] SHI W,DONG S W,LI J H,et al. Formation of the Moping Dome in the Xuefengshan Orocline, Central China and Its Tectonic Significance[J]. Acta Geologica Sinica;English Edition,2013,87(3):720-729.
- [18] SHI W,DONG S W,RATSCHBACHER L,et al. Mesozoic Tectonic Evolution of the Dangyang Basin, North-central Yangtze Craton, Central China[J]. International Geology Review,2013,55(3):382-396.
- [19] SHI W,LI J H,TIAN M,et al. The Tectonic Evolution of the Dabashan Orocline,Central China;Insights from Superposed Folds in the Eastern Dabashan Foreland[J]. Geoscience Frontiers,2013,4(6):729-741.
- [20] 王建,李三忠,金宠,等. 湘中地区穹盆构造:褶皱叠加期次和成因[J]. 大地构造与成矿学,2010,34(20):159-165.
WANG Jian,LI San-zhong,JIN Chong,et al. Dome-and-basin Pattern in Central Hunan Province;Stages and Genesis of Fold Superposition[J]. Geotectonica et Metallogenia,2010,34(20):159-165.
- [21] 安徽省地质局. 1:200 000 旌德、安庆幅区域地质测量报告[R]. 合肥:安徽省地质局,1965.
Geological Bureau of Anhui Province. Measurement Reports of Jingde and Anqing Regional Geology(1:200 000)[R]. Hefei:Geological Bureau of Anhui Province,1965.
- [22] 安徽省地质调查院. 1:250 000 安庆、宣城幅区域地质调查报告[R]. 合肥:安徽省地质调查院,2005.
Geological Survey of Anhui Province. Investigation Reports of Anqing and Xuancheng Regional Geology(1:250 000)[R]. Hefei:Geological Survey of Anhui Province,2005.
- [23] 陈忠大,吴小勇. 浙西的加里东运动[J]. 浙江地质,1996,12(2):28-34.
CHEN Zhong-da,WU Xiao-yong. The Caledonian Movement in Western Part of Zhejiang[J]. Geology of Zhejiang,1996,12(2):28-34.
- [24] 余心起. 皖南兰田残留向斜不是构造窗[J]. 地质论评,2000,46(4):337-346.
YU Xin-qi. Lantian Relict Synclinal Basin in South Anhui,Not a Tectonic Window[J]. Geological Review,2000,46(4):337-346.
- [25] CHARVET J,SHU L S,SHI Y S. The Building of South China:Collision of Yangzi and Cathaysia Blocks, Problems and Tentative Answers[J]. Journal of Southeast Asian Earth Sciences,1996,13(3/4/5):223-235.
- [26] CHARVET J,SHU L S,FAURE M,et al. Structural Development of the Lower Paleozoic Belt of South China:Genesis of an Intracontinental Orogen[J]. Journal of Asian Earth Sciences,2010,39(4):309-330.
- [27] LI Z X,LI X H,WARTHOF J A. Magmatic and Metamorphic Events During the Early Paleozoic Wuyi-Yunkai Orogeny,Southeastern South China;New Age

- Constraints and *P-T* Conditions[J]. Geological Society of America Bulletin, 2010, 122(5/6): 772-793.
- [28] 舒良树. 华南前泥盆纪构造演化: 从华夏地块到加里东造山带[J]. 高校地质学报, 2006, 12(4): 418-431.
- SHU Liang-shu. Predevonian Tectonic Evolution of South China: From Cathaysian Block to Caledonian Period Folded Orogenic Belt[J]. Geological Journal of China Universities, 2006, 12(4): 418-431.
- [29] 舒良树. 华南构造演化的基本特征[J]. 地质通报, 2012, 31(7): 1035-1053.
- SHU Liang-shu. An Analysis of Principal Features of Tectonic Evolution in South China Block[J]. Geological Bulletin of China, 2012, 31(7): 1035-1053.
- [30] 吴浩若. 下扬子区加里东期构造古地理问题[J]. 古地理学报, 2005, 7(2): 243-248.
- WU Hao-ruo. Discussion on Tectonopalaogeography of Lower Yangtze Area During the Caledonian Period[J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7(2): 243-248.
- [31] 徐先兵, 汤 帅, 李 源, 等. 江南造山带东段新元古代至早中生代多期造山作用特征[J]. 中国地质, 2015, 42(1): 33-50.
- XU Xian-bing, TANG Shuai, LI Yuan, et al. Characteristics of Neoproterozoic-Early Mesozoic Multiphase Orogenic Activities of Eastern, Jiangnan Orogen[J]. Geology in China, 2015, 42(1): 33-50.
- [32] 朱 光, 徐嘉炜, 刘国生, 等. 下扬子地区沿江前陆盆地形成的构造控制[J]. 地质论评, 1998, 44(2): 120-129.
- ZHU Guang, XU Jia-wei, LIU Guo-sheng, et al. Tectonic Pattern and Dynamic Mechanism of the Foreland Deformation in the Lower Yangtze Region[J]. Geological Review, 1998, 44(2): 120-129.
- [33] 田作基. 沉积岩区叠加褶皱及其成因机制[J]. 西北地质, 1994, 15(1): 5-10.
- TIAN Zuo-ji. Superimposed Fold and Its Genetic Mechanism of the Sedimentary Rock Area[J]. Northwestern Geology, 1994, 15(1): 5-10.
- [34] 李四光. 地质力学概论[M]. 北京: 科学出版社, 1973.
- LI Si-guang. Introduction of Geomechanics[M]. Beijing: Science Press, 1973.
- [35] 马杏垣. 解析构造刍议[J]. 地球科学, 1983, 2(3): 1-9.
- MA Xing-yuan. On Analytical Tectonics[J]. Earth Science, 1983, 2(3): 1-9.
- [36] 乐光禹, 杜思清. 应力叠加和联合构造[J]. 中国科学: B 辑, 1986(8): 867-877.
- YUE Guang-yu, DU Si-qing. Stress Superposition and Joint Structure[J]. Science in China: Series B, 1986(8): 867-877.
- [37] 杜思清, 刘援朝, 魏显贵. 纵弯褶皱叠加机制和类型的研究现状[J]. 矿物岩石, 1998, 18(3): 73-81.
- DU Si-qing, LIU Yuan-chao, WEI Xian-gui. The Present Situation of the Mechanism and the Types in Superposed Buckle Folding[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 1998, 18(3): 73-81.
- [38] RAMSAY J G. Folding and Fracturing of Rocks[M]. New York: New McGraw Hill, 1967.
- [39] RAMSAY J G, HUBER M I. The Techniques of Modern Structural Geology: Volume 2, Folds and Fractures [M]. London: Academic Press, 1987.
- [40] THIESSEN R L, MEANS W D. Classification of Fold Interference Patterns: A Reexamination[J]. Journal of Structural Geology, 1980, 2(3): 311-316.
- [41] GHSOSH S K, MANDAL N, KHAN D, et al. Modes of Superposed Buckling in Single Layers Controlled by Initial Tightness of Early Fold [J]. Journal of Structural Geology, 1992, 14(4): 381-394.
- [42] GHSOSH S K, MANDAL N, SENGUPTA S, et al. Superposed Buckling in Multilayers[J]. Journal of Structural Geology, 1993, 15(1): 95-111.
- [43] SIMON J L. Superposed Buckle Folding in the Eastern Iberian Chain Spain[J]. Journal of Structural Geology, 2004, 26(8): 1447-1464.
- [44] 陈秀其, 周涛发. 皖南地区太平复式向斜构造解析及其意义[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2017, 40(12): 1684-1690.
- CHEN Xiu-qi, ZHOU Tao-fa. Tectonic Analysis of the Taiping Compound Syncline Structure and Its Significance in the Southern Anhui[J]. Journal of Hefei University of Technology (Natural Science Edition), 2017, 40(12): 1684-1690.
- [45] 卢华复. 皖南加里东地槽地质构造[J]. 南京大学学报(自然科学版), 1965, 9(3): 360-377.
- LU Hua-fu. The Tectonics of the South Anhui Caledonian Geosyncline[J]. Journal of Nanjing University (Natural Science Edition), 1965, 9(3): 360-377.
- [46] FLINN D. On Folding During Three Dimensional Progressive Deformation[J]. Quaternary Journal of Geological Society, 1962, 118: 385-433.
- [47] SENGUPTA S, GHOSH S K, DEB S K, et al. Opening and Closing of Folds in Superposed Deformations [J]. Journal of Structure Geology, 2005, 27(7): 1282-1299.
- [48] 黄继钧. 纵弯叠加褶皱地区应力场研究: 以川东北地区为例[J]. 地质科学, 2000, 35(2): 140-150.
- HUANG Ji-jun. Research on the Stress Fields in Superposed Fold Area: An Example from Northeastern Sichuan[J]. Scientia Geologica Sinica, 2000, 35(2):

- 140-150.
- [49] GHSOSH S K, DEB S K, SENGUPTA S. Hinge Migration and Hing Replacement[J]. *Journal of Structural Geology*, 1996, 18(2/3): 319-337.
- [50] WATKINSON A J. Patterns of Fold Interference; Influence of Early Fold Shapes[J]. *Journal of Stuctural Geology*, 1981, 3(1): 19-23.
- [51] 徐树桐, 夏宗国. 赤平投影在变质岩褶皱构造分析中的应用[J]. *合肥工业大学学报*, 1980(3): 21-34.
XU Shu-tong, XIA Zong-guo. The Use of Sterographic Projection for Fold Analysis of Metamorphic Rocks [J]. *Journal of Hefei Polytechnic University*, 1980 (3): 21-34.
- [52] 王孔忠, 颜铁增, 袁 强. 扬子东南缘北段加里东期的褶皱特征: 来自不整合关系的证据[J]. *地质通报*, 2006, 25(6): 673-675.
WANG Kong-zhong, YAN Tie-zeng, YUAN Qiang. Characteristics of Caledonian Folds in the Northern Segment of the Yangtze Platform: Evidence from Unconformity[J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(6): 673-675.
- [53] 刘何凡, 姜振宁. 内蒙古大梁道班地区叠加褶皱构造分析[J]. *化工矿产地质*, 2016, 38(2): 71-78.
LIU He-fan, JIANG Zhen-ning. Analysis of Superimposed Fold Structure in Daliangdaoban Region of Inner Mongolia[J]. *Geology of Chemical Minerals*, 2016, 38 (2): 71-78.
- [54] 安徽省冶金地质局. 1: 200 000 祁门、屯溪幅区域地质测量报告[R]. 合肥: 安徽省冶金地质局, 1971.
Metallurgical Geological Bureau of Anhui Province. Measurement Reports of Qimen and Tunxi Regional Geology(1: 200 000)[R]. Hefei: Metallurgical Geological Bureau of Anhui Province, 1971.
- [55] 浙江省地质局. 1: 200 000 建德幅区域地质测量报告[R]. 杭州: 浙江省地质局, 1965.
Geological Bureau of Zhejiang Province. Measurement Report of Jiande Regional Geology(1: 200 000)[R]. Hangzhou: Geological Bureau of Zhejiang Province, 1965.
- [56] 浙江省地质矿产局. 浙江省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1985.
Geological and Mineral Bureau of Zhejiang Province. Regional Geology in Zhejiang Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985.
- [57] 江西省地质局. 江西省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1984.
Geological Bureau of Jiangxi Province. Regional Geology in Jiangxi Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1984.
- [58] 安徽省地质矿产局. 安徽省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1987.
Geological and Mineral Bureau of Anhui Province. Regional Geology in Anhui Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987.
- [59] 储东如. 皖南宁国一带印支期褶皱变形分析[J]. *安徽地质*, 1998, 8(3): 45-49.
CHU Dong-ru. The Analysis of the Indosinian Folding Deformation Around the Ningguo Area, South Anhui [J]. *Geology of Anhui*, 1998, 8(3): 45-49.
- [60] 朱 光, 刘国生. 皖南江南陆内造山带的基本特征与中生代造山过程[J]. *大地构造与成矿学*, 2000, 24 (2): 103-111.
ZHU Guang, LIU Guo-sheng. Basic Characteristics and Mesozoic Orogenic Process of the Jiangnan Intracontinental Orogenic Belt in Southern Anhui[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2000, 24(2): 103-111.
- [61] 安徽省地质调查院. 1: 50 000 横船渡、乌石垄、城安、郭村、汀王殿、宁国、乔亭、胡乐司、誓节渡、广德、独树街、芦村、南陵、泾县、后山、陈村、三溪幅区域地质调查报告[R]. 合肥: 安徽省地质调查院, 2015.
Geological Survey of Anhui Province. Investigation Reports of Hengchuandu, Wushilong, Cheng'an, Guocun, Tingwangdian, Ningguo, Qiaoting, Hulesi, Shijiedu, Guangde, Dushujie, Lucun, Nanling, Jingxian, Houshan, Chencun and Sanxi Regional Geology(1: 50 000)[R]. Hefei: Geological Survey of Anhui Province, 2015.
- [62] 安徽省地质局. 1: 200 000 太湖幅区域地质测量报告[R]. 合肥: 安徽省地质局, 1970.
Geological Bureau of Anhui Province. Measurement Report of Taihu Regional Geology(1: 200 000)[R]. Hefei: Geological Bureau of Anhui Province, 1970.